



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

Sistem proteksi / pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya rele pengaman saja tetapi juga Trafo Arus (*Current Transformer*) dan Trafo Tegangan (*Voltage Transformer*) yang merupakan sumber informasi dari rele pengaman, sumber daya (*DC Supply*) yang merupakan sumber untuk mengoperasikan rele pengaman dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) yang akan menerima perintah akhir dari rele pengaman.

Jadi sistem proteksi / pengaman tenaga listrik adalah merupakan satu kesatuan antara CT, VT, Relay, DC Supply dan Circuit Breaker. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut akan berakibat sistem tersebut tidak jalan. Untuk itu peralatan CT, VT, Relay, DC Supply dan Circuit Breaker yang membentuk rangkaian pola pengaman diatas juga perlu diperhatikan.¹

2.2 Perangkat Sistem Proteksi

2.2.1 Transformator Instrument

Transformator instrument berfungsi untuk mencatu instrument ukur (meter) dan relai serta alat – alat serupa lainnya. Transformator ini terdapat dua jenis yaitu transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT).

2.2.2 Pemutus Tenaga (CB)

Pemutus tenaga adalah saklar yang digunakan untuk menghubungkan / memutuskan arus / daya listrik sesuai ratingnya. Oleh karena pemutus tenaga digunakan untuk memutuskan beban maka harus dilengkapi dengan pemadam busur api.

1. Jenis pemutus tenaga berdasarkan media pemadam busur apinya :

- Pemutus tenaga dengan menggunakan minyak banyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*).

¹ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal 2



- Pemutus tenaga dengan menggunakan minyak sedikit (*Low Oil Content Circuit Breaker*)
- Pemutus tenaga dengan media hampa udara (*Vacuum Circuit Breaker*)
- Pemutus tenaga dengan udara hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)
- Pemutus tenaga dengan media gas SF₆

2. Jenis pemutus tenaga berdasarkan mekanis penggerakannya :

- Pegas
- Pneumatik
- Hidrolik

2.2.3 Rele Proteksi

Agar penyaluran energi listrik tetap terjamin kontinuitasnya serta aman terhadap lingkungan dan peralatan maka diperlukan peralatan yang dapat mengamankan / memproteksi kepentingan diatas.²

2.3 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang tergantung dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misal arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika atau dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya, agar masing – masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

² PT PLN (Persero) PUSDIKLAT, Materi Workshop Operasi dan Pemeliharaan GI, Hal 11



2.3.1 Fungsi Rele Proteksi

Adapun fungsi dari rele proteksi pada sistem tenaga listrik adalah :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sistem lain yang tidak terganggu, sehingga dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.³

2.3.2 Syarat – Syarat Rele Proteksi

Rele merupakan kunci kelangsungan kerja untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik, maka untuk menjaga keandalan dari sistem tenaga listrik, rele harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif (*Sensitivity*)

Pada prinsipnya relay proteksi harus mampu mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentriapkan pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.

2. Selektif (*Selectivity*)

Selektivitas dari relay proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan. Bagian yang terbuka dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relay proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi didaerah

³ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal 3-4



pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamanannya.

3. Cepat (*Speed Of Operation*)

Makin cepat relay proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

4. Handal (*Reliability*)

Sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan pengamanan pada daerah yang diamankan.

Keandalan memiliki 3 aspek, antara lain :

1. *Dependability*, adalah kemampuan suatu sistem rele untuk beroperasi dengan baik dan benar. Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain *dependability*-nya harus tinggi.
2. *Security*, adalah tingkat kepastian suatu sistem relai untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada di luar pengamanannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.
3. *Availability*, adalah perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

5. Ekonomis (*Economic*)

Dengan biaya yang sekecilnya-kecilnya diharapkan relay proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya.

6. Sederhana (*Simplicity*)

Perangkat relay proteksi disyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel. namun tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya.⁴

⁴ <http://www.scribd.com/doc/239483176/Syarat-syarat-Relay-Proteksi#scribd>



2.3.3 Penyebab Kegagalan Proteksi

Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Kegagalan pada rele sendiri.
- b. Kegagalan suplai arus ke rele, rangkaian suplai arus ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c. Kegagalan sistem suplai arus daerah untuk tripping pemutus tenaga. Jal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- d. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutus arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back up Protection*). Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

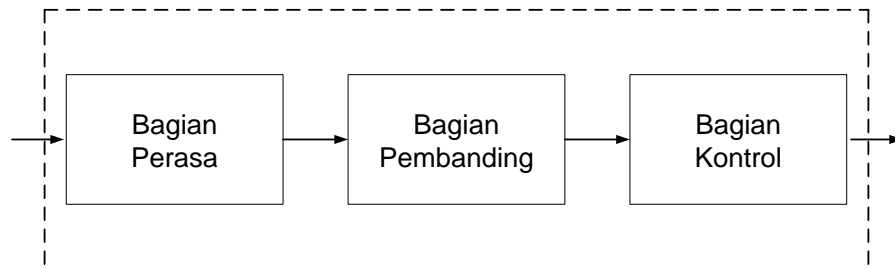
- A) Pengaman utama yang umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele differensial.
- B) Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama.⁵

⁵ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal 4-5



2.3.4 Bagian Umum dari Suatu Rele Proteksi

Rele proteksi umumnya terdiri dari tiga bagian seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.1 Bagian Umum dari Suatu Rele Proteksi

1. Bagian Perasa (*sensing element*)

Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.

2. Bagian Pembanding (*comparing element*)

Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normat atau tidak.

3. Bagian Kontrol

Pada bagian ini pembukaan circuit breaker (PMT) atau pemberi tanda/signal diatur dan dilaksanakan.⁶

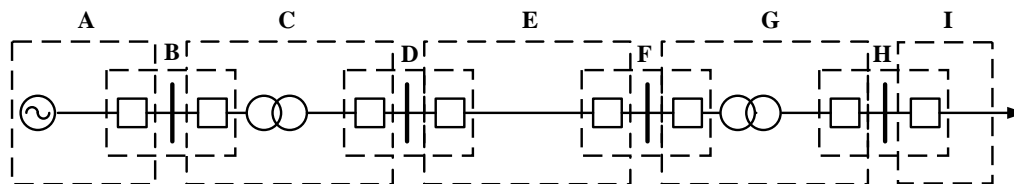
2.4 Daerah Pengaman

Peralatan sistem pengaman ini ditempatkan pada bagian – bagian sistem tenaga listrik yang memberikan suatu konsep daerah pengaman. Batas suatu daerah menentukan suatu bagian dari sistem sehingga untuk suatu gangguan dimanapun didalam daerah tersebut, sistem pengaman bertanggung jawab untuk memisahkan bagian yang terganggu dari sistem tenaga listrik. Oleh karena pemisahan atau pemutusan daya dalam keadaan terganggu itu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada tiap titik hubung antara peralatan dengan bagian

⁶ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal 70



lain harus disisipkan suatu pemutus rangkaian atau pemutus tenaga, dengan kata lain pemutus tenaga akan membantu penentuan batas daerah perlindungan.



- | | |
|--|--|
| A. Pengaman generator | F. Pengaman switchgear tegangan tinggi |
| B. Pengaman switchgear tegangan rendah | G. Pengaman transformator daya |
| C. Pengaman transformator daya | H. Pengaman switchgear tegangan rendah |
| D. Pengaman switchgear tegangan tinggi | I. Pengaman saluran distribusi |
| E. Pengaman saluran transmisi | |

Gambar 2.2. Daerah – Daerah Pengaman

Aspek penting lain dari daerah perlindungan adalah daerah yang berdekatan selalu saling melindungi (*overlap*). Hal ini perlu karena suatu bagian sistem yang berada di daerah – daerah yang berdekatan betapapun kecilnya tidak boleh dibiarkan tanpa perlindungan seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. namun jelas pula bahwa jika terjadi gangguan dibagian yang saling melindungi tersebut, suatu bagian yang lebih besar dari sistem tenaga akan dipisahkan dan tidak dapat memberikan pelayanan. Untuk mengurangi kemungkinan seperti itu, bagian yang menutupi dibuat sekecil mungkin.

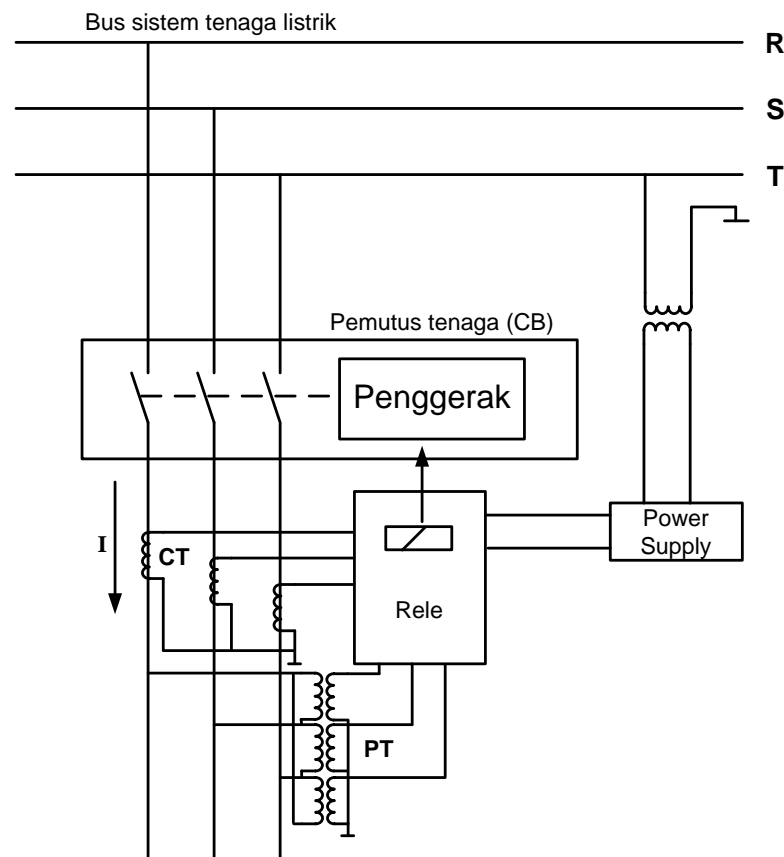
2.5 Sistem Pengaman

Untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan seperti arus lebih atau hubung singkat, turun dan naiknya tegangan, turun dan naiknya frekuensi dan kegagalan isolasi atau melemahnya isolasi pada sistem tenaga listrik dilakukan dengan memasang alat pengaman atau pelindung, sedangkan untuk menghilangkan gangguan dengan cepat diperlukan sistem operasi yang tepat dan benar. Oleh karena itu suatu sistem pengaman haruslah mempunyai sifat – sifat dan kriteria operasi yang handal, selektif dan sederhana.

Suatu sistem pengaman terdiri dari alat – alat utama yaitu pemutus tenaga atau CB, peralatan ukur atau transformator ukur terdiri dari transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT) dan rele untuk memonitor besaran



gangguan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu besaran (seperti arus, tegangan, frekuensi, daya dan impedansi) yang telah melampaui batas keadaan normal. Keadaan ini dapat mengganggu dan merusakkan peralatan sistem tenaga listrik. Untuk mengatasi persoalan tersebut, sebelum dilakukan pemisahan bagian yang terganggu oleh pemutus tenaga (CB), besaran gangguan harus dapat terdeteksi atau dimonitor oleh suatu peralatan. Peralatan yang dapat memonitor besaran gangguan atau terjadinya gangguan dan pada saat yang sama memberikan daya pada rangkaian trip pada pemutus tenaga (CB) agar pemutus tenaga membuka kontakannya adalah Rele.



Gambar 2.3. Peralatan dan Hubungan Sistem Pengamanan

Naiknya arus atau naik / turunnya tegangan yang disebabkan oleh gangguan sebagai tanda terjadinya suatu gangguan pada sistem tenaga listrik. Sinyal – sinyal tingkat rendah yang dihasilkan oleh transduser adalah cukup teliti



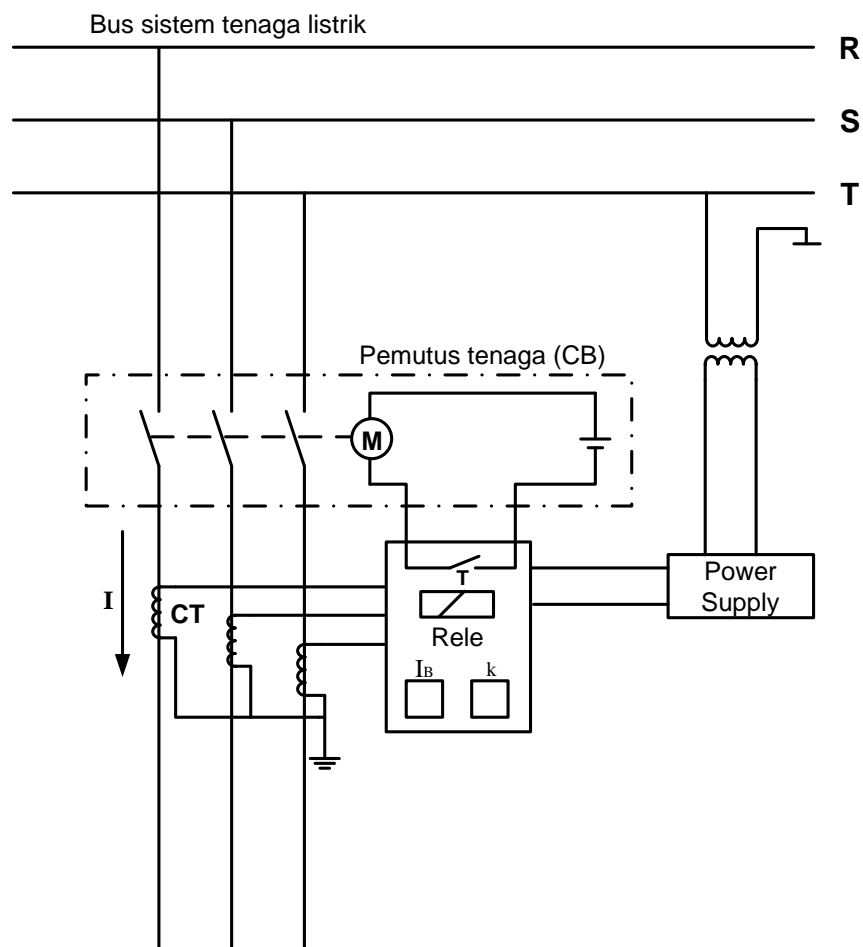
dari tegangan dan arus sebenarnya pada sistem tenaga listrik. Rele akan memproses sinyal masukan ini dan membuat suatu keputusan, bahwa suatu gangguan benar telah terjadi. Keputusan ini dicapai dalam waktu yang sangat singkat setelah timbulnya gangguan.⁷

2.6 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan kenaikan besaran arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai pola pengamanan arus lebih atau hubung singkat. Rele arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus tetapi yang terpenting adalah kemampuan rele untuk mendeteksi atau memonitor kenaikan arus bila telah melampaui batas arus dan waktu yang telah ditentukan. Ujuk kerja (*performance*) rele dipengaruhi oleh konstruksinya yaitu prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.

Pengukuran arus gangguan pada jaringan oleh rele arus lebih ditransformasikan dengan nilai arus yang lebih kecil melalui perbandingan lilitan menggunakan transformator arus (*Current Transformer/CT*). Hubungan rele arus lebih, transformator arus dan pemutus tenaga pada jaringan ditunjukkan pada gambar 2.4.

⁷Carlos R. Sitompul, Praktikum Sistem Proteksi, hal 3 - 5

Gambar 2.4. Hubungan Relé Arus Lebih pada Jaringan⁸

2.6.1 Keuntungan dan Fungsi Relé Arus Lebih

- Sederhana dan murah.
- Mudah penyetelannya.
- Merupakan relé pengaman utama dan cadangan
- Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*).
- Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial.
- Pengaman cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi.

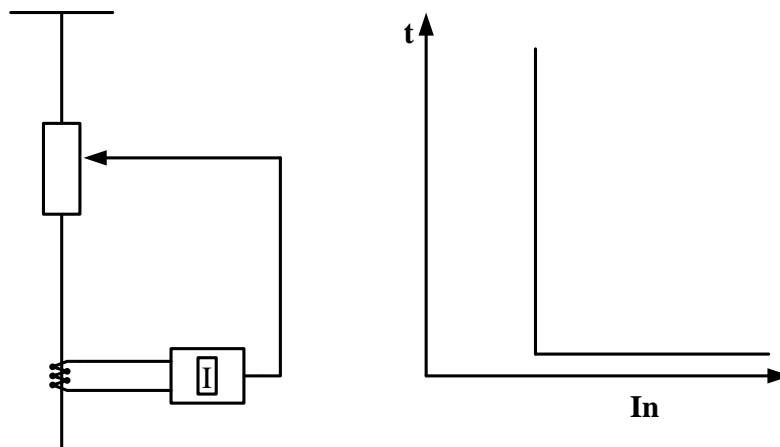
⁸ Carlos R. Sitompul, Praktikum Sistem Proteksi, hal 17-18



2.6.2 Karakteristik Waktu Kerja Rele Arus Lebih

a. Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Moment*)

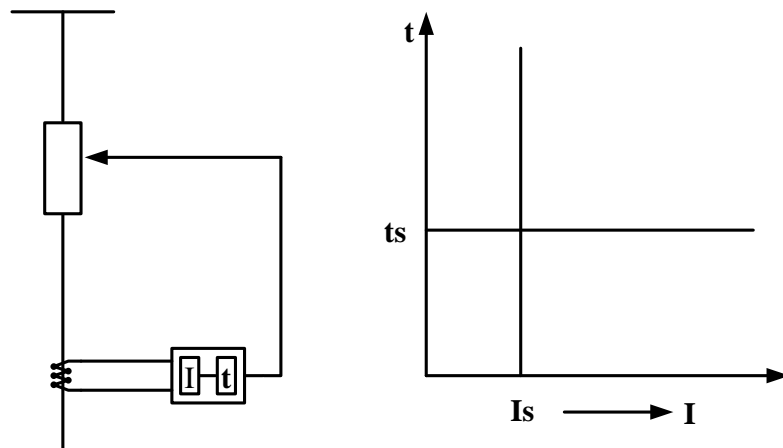
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya pick up sampai selesainya kerja rele sangat singkat (20-100 ms), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal berdiri sendiri secara khusus



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

b. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

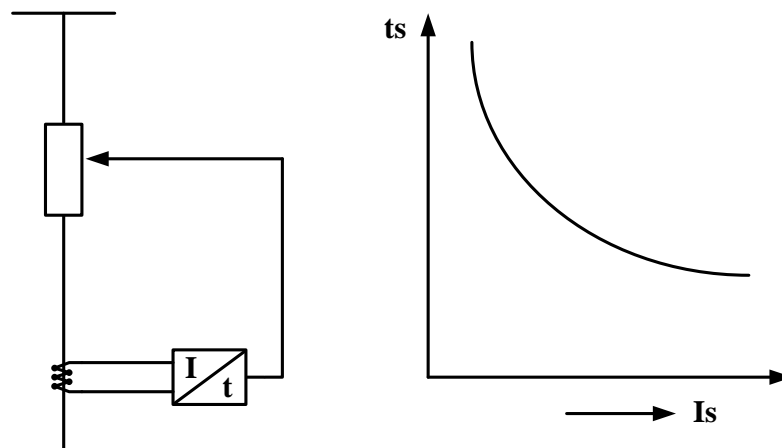
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu ialah jika jangka waktu mulai rele arus pick up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

c. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

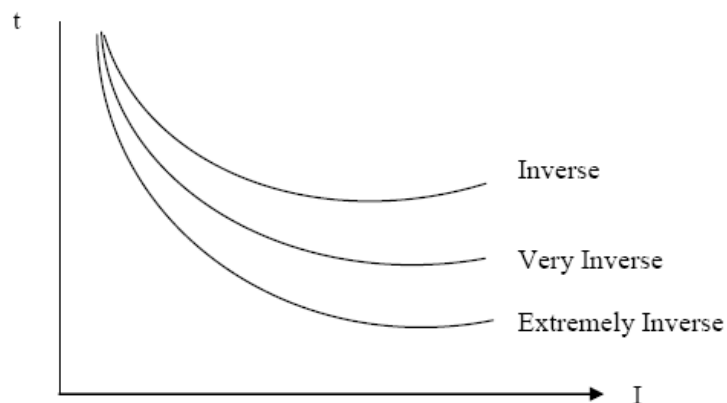
Rele dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus pick up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Karakteristik waktu rele arus lebih waktu terbalik dibedakan dalam tiga kelompok :

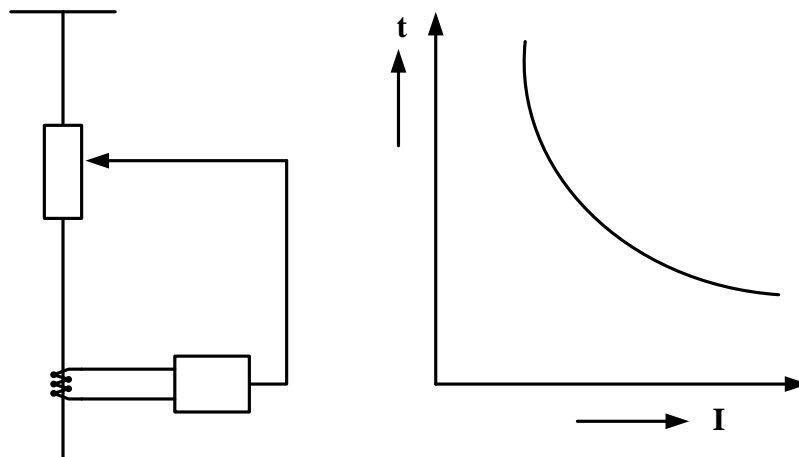
- Berbanding terbalik (*inverse*)
- Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)



Gambar 2.8 Perbandingan Terbalik dari Waktu dan Arus

d. Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time*

Rele arus lebih dengan karakteristik *inverse definite minimum time* (IDMT) ialah jika jangka waktu rele arus mulai pick up sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele pick up dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar.

Gambar 2.9 Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time*

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasi dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika.⁹

⁹ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal 53 - 56



2.7 Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang biasa disensor oleh rele arus lebih yaitu :

- Gangguan arus hubung singkat 3 fasa
- Gangguan arus hubung singkat 2 fasa

Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat yaitu dengan menggunakan hukum ohm :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.1)^{10}$$

I = Arus Gangguan

V = Tegangan Sumber

Z = Impedansi dari sumber ke titik gangguan

2.8 Perhitungan Impedansi Sumber

Impedansi sumber adalah nilai tahanan pada sisi primer, yang mewakili semua unit pembangkit. Beberapa perusahaan listrik memberikan data pada langganan untuk menetapkan pemutus rangkaian bagi instalasi industri atau sistem distribusi yang dihubungkan pada sistem pemakaian di seberang titik. Biasanya data tadi berupa daftar megaboltampere hubung – singkat, dimana

$$\text{MVA hubung – singkat} = \sqrt{3} \times (\text{kV nominal}) \times I_{sc} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(2.2)^{11}$$

Dengan menyelesaikan Persamaan (2.2) dihasilkan :

$$Z_{1s} = \frac{(\text{nominal KV})^2}{\text{MVA hubung – singkat}} \Omega \dots\dots\dots(2.3)^{12}$$

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak pada sisi primer ke sisi sekunder dari trafo, maka dilakukan dengan menyamakan rating daya transformator tenaga antara sisi primer dan sisi sekunder, maka :

¹⁰ Muhalan, Budi Yanto Husodo, Jurnal Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 Kv di PT. XYZ, hal 166

¹¹⁻¹² William D.Stevenson, Analisis Sistem Tenaga Listrik, hal 249



$$Z_{2s} = \frac{KV_2^2 (sek)}{KV_1^2 (pri)} \times Z_{1s} \text{ (sisi 70 kV)} \dots\dots\dots(2.4)^{13}$$

Dimana:

KV_1 = Tegangan transformator tenaga sisi primer (kV)

KV_2 = Tegangan transformator tenaga sisi sekunder (kV)

Z_{1s} = Impedansi transformator tenaga sisi primer (ohm)

Z_{2s} = Impedansi transformator tenaga sisi sekunder (ohm)

2.9 Perhitungan Reaktansi Transformator

Reaktansi transformator tenaga tercantum pada name plate transformator.

Untuk perhitungan reaktansi trafo digunakan rumus seperti persamaan 2.5 :

$$X_t (100\%) = \frac{(KV)^2}{(MVA)} \dots\dots\dots(2.5)^{14}$$

Nilai reaktansi transformator tenaga ini adalah reaktansi urutan positif negatif, maka digunakan rumus untuk menghitung reaktansi transformator urutan positif negatif, yaitu :

$$X_{t1} = X (\%) \times X_t (100\%) \dots\dots\dots(2.6)^{15}$$

Dimana :

X_{t1} = Reaktansi Trafo (Ohm)

$X\%$ = Reaktansi dalam %

2.10 Perhitungan Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung disini tergantung dari besarnya impedansi per km (km/ohm) dari penyulang yang dihitung, dimana nilainya ditentukan oleh jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM. Maka rumus untuk menghitung impedansi penyulang yaitu :

$$\text{Impedansi Penyulang} = \text{Panjang Penyulang (Km)} \times Z \text{ (ohm/Km)} \dots\dots\dots(2.7)^{16}$$

¹³⁻¹⁶Abiakto, Analisa Setting Rele Arus Lebih Pada Penyulang Enim Di Gardu Induk Sungai Juaro Palembang, hal 19



2.11 Perhitungan Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan impedansi ekivalen jaringan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen urutan Positif dan impedansi ekivalen urutan negatif dari titik gangguan sampai kesumber. Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dihitung sesuai lokasi gangguan, dengan menjumlahkan impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi penyulang. Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} yaitu :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_{tl} + Z_{lpenyulang} \dots \dots \dots (2.8)^{17}$$

2.12 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif ekivalen Z_1 . Tegangannya adalah V fasa - fasa. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{f3} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{\frac{KV}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.9)^{18}$$

Dimana :

I_{f3} = Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

V_{ph} = Tegangan Fasa – Netral = $\frac{20 \text{ KV}}{\sqrt{3}}$

Z_{1eq} = Impedansi Z_1 Ekivalen

2.13 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 fasa

Impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif + urutan negatif. Nilai ekivalen $Z_1 + Z_2$. Tegangannya adalah V fasa – fasa. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

¹⁷ Muhalan, Budi Yanto Husodo, Jurnal Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 Kv di PT. XYZ, hal 167

¹⁸ Muhalan, Budi Yanto Husodo, Jurnal Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 Kv di PT. XYZ, hal 166



$$I_{f2} = \frac{V}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.10)^{19}$$

Dimana :

I_{f2} = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

V = Tegangan Fasa – Fasa

Z_{1eq} = Impedansi Z1 Ekivalen

Z_{2eq} = Impedansi Z2 Ekivalen

2.14 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Pada tahap berikutnya, hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus, terutama nilai setelan TMS (*Time Multiple Setting*), dari rele arus lebih dengan karakteristik invers. Disamping itu setelah nilai setelan rele diperoleh, nilai – nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa rele arus lebih. Berikut ini adalah kaidah setelan rele arus dan waktu pada penyulang.

Tabel 2.1 Kaidah Setting Rele Arus Lebih

Uraian	Penyulang	Incoming Transformator
Jenis Karakteristik	Standar Inverse Rele arus lebih	Standar Inverse Rele arus lebih
Setelan Arus	(1,0 - 1,2) x In CT	(1,0 - 1,2) x In Trafo
Waktu Kerja	(0,2 - 0,4) detik	(0,7 - 1) detik

2.14.1 Arus Setting

Rumus yang digunakan untuk menghitung setelan arus pada sisi primer yaitu : $I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{beban} \dots\dots\dots(2.11)^{20}$

¹⁹ Abiakto, Analisa Setting Rele Arus Lebih Pada Penyulang Enim Di Gardu Induk Sungai Juaro Palembang, hal 21

²⁰ Muhalan, Budi Yanto Husodo, Jurnal Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 Kv di PT. XYZ, hal 168



Setelah mendapatkan nilai setelan arus sisi primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots(2.12)^{21}$$

Dimana:

$I_{\text{set (primer)}}$ = Arus yang disetting di primer

$I_{\text{set (sekunder)}}$ = Arus yang disetting di sekunder

Rasio Ct = Setting trafo yang dipasang di penyulang

2.14.2 Waktu Setting

Untuk setelah waktu rele standart inverse dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus. Rumus ini bermacam – macam sesuai buatan pabrik pembuat rele, dalam hal ini diambil rumus kurva waktu dan arus dari standart British, sebagai berikut :

$$tms = \frac{t \times \left\{ \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^k - 1 \right\}}{0,14} \dots\dots\dots(2.13)^{22}$$

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^k - 1} dt \dots\dots\dots(2.14)^{23}$$

Dimana :

t = waktu trip (detik)

tms = faktor perkalian waktu

I_{fault} = besarnya arus gangguan hubung singkat (A)

Faktor k tergantung pada kurva arus – waktu sebagai berikut :

IEC standard inverse $k = 0,02$

^{21- 23} Abiakto, Analisa Setting Rele Arus Lebih Pada Penyulang Enim Di Gardu Induk Sungai Juaro Palembang, hal 22



IEC very inverse	$k = 1$
IEC Extremely inverse	$k = 2$

2.15 Pemeriksaan Selektifitas Kerja Rele Arus Lebih

Hasil perhitungan setelan rele arus lebih yang didapat masih harus diperiksa, apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain. Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada rele arus lebih dari jenis standar inverse, karena setelan waktu (TMS) pada rele arus lebih jenis inverse bukan menunjukkan lamanya waktu kerja rele tersebut. Lamanya waktu kerja rele ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di rele. Pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan bermacam – macam nilai arus gangguan hubung singkat sesuai hasil perhitungannya, dengan menggunakan persamaan *standar inverse*.

2.16 Pengenalan ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) adalah *software* yang digunakan untuk melakukan permodelan atau perencanaan dan gambaran tentang sistem kelistrikan yang ada di suatu industri atau wilayah. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasiitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aiiran daya, hubung singkat, starting motor, *trancient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada



diagram satu garis. Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis.²⁴

Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa. Analisa yang dapat dilakukan pada ETAP yaitu :

1. *Load Flow Analysis* (Analisa Aliran Daya)

Analisa aliran daya merupakan suatu analisa aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran transmisi hingga ke beban (sisi penerima). Idealnya daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterima di sisi beban. Hal ini dikarenakan :

- a. Impedansi saluran transmisi
- b. Tipe bebanyang terhubung

2. *Short Circuit Analysis* (Analisa Hubung Singkat)

Hubung singkat (short circuit) adalah suatu peristiwa terjadi hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadialiran arus yang tidak normal (sangat besar) yang biasa disebut arus hubung singkat. Adanya hubung singkat menghasilkan arus lebih yang umumnya jauh lebih besar dari pada arus pengenal peralatan da terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik. Sehingga bila gangguan tidak segera dihilangkan dapat merusak peralatan pada sistem tersebut. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi sangatlah dipengaruhi oleh jumlah pembangkit yang masuk pada sistem, letak gangguan dan jenis gangguan.

3. *Motor Acceleration Analysis*

Masalah pada saat *starting* motor induksi yang umum menjadi perhatian adalah motor-motor induksi 3 fasa yang memiliki kapasitas yang besar. Selama periode waktu *starting*, motor pada sistem akan dianggap sebagai sebuah impedansi kecil yang terhubung dengan sebuah bus. Motor akan mengambil arus yang besar dari sistem, sekitar 6 kali arus ratingnya, dan bisa mengakibatkan *drop voltage* pada sistem serta menyebabkan gangguan pada

²⁴ <http://www.wandynotes.com/2012/08/tentang-etap-electric-transient-and.html>. diakses pada tanggal 12 Maret 2017 pukul 17:32



operasi beban yang lain. Hal ini dikarenakan pada motor induksi akan terjadi lonjakkan arus pada saat *starting*. Lonjakkan arus ini dikarenakan kondisi motor yang masih diam pada saat di *start*. Karena motor belum bergerak, kecepatan relatif motor terhadap medan magnet putar saat start akan maksimal sehingga tegangan yang diinduksikannya akan maksimal pula dan mengakibatkan nilai arus yang mengalir akan sangat besar.

4. *Protective Device Coordination*

Menganalisa koordinasi pengaman yang baik dan tidak salah kerja. Koordinasi pengaman yang benar dikatakan apabila kerja dari beberapa pengaman tidak merugikan atau bahkan merusak peralatan lainnya. Artinya pengaman yang lebih dekat dengan gangguan arus terlebih dahulu bekerja pertama kali, karena itu cara kerja yang benar dari peralatan pengaman yang terkoordinasi.

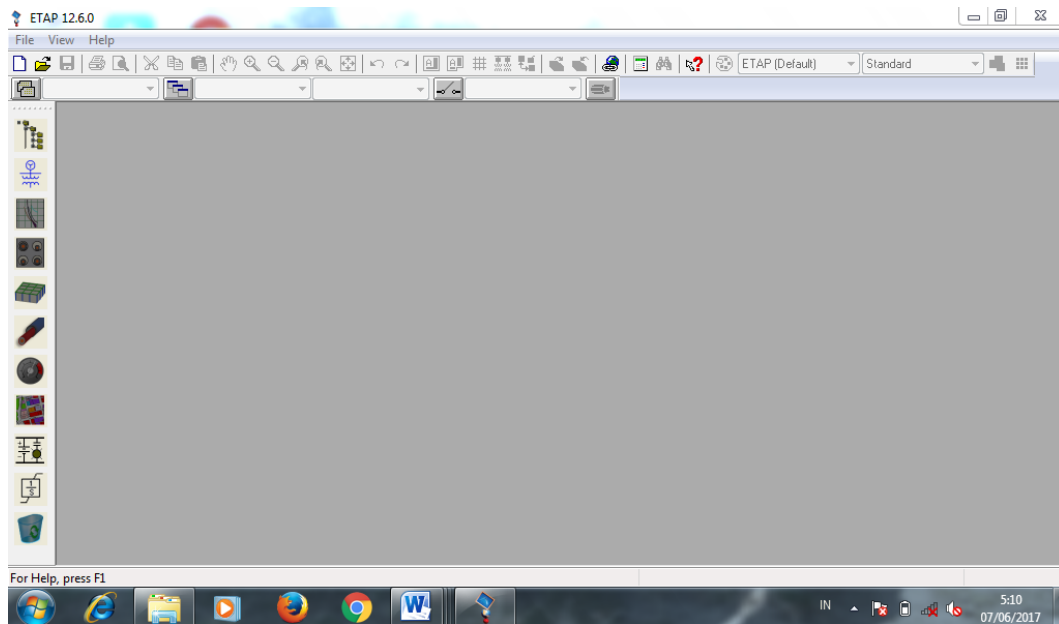
5. Dan masih banyak kegunaan/manfaat dan analisa yang dapat dilakukan menggunakan program ETAP 12.6.0 ini²⁵.

2.16.1 Memulai ETAP 12.6.0

Untuk memulai ETAP dapat dilakukan dengan cara berikut :

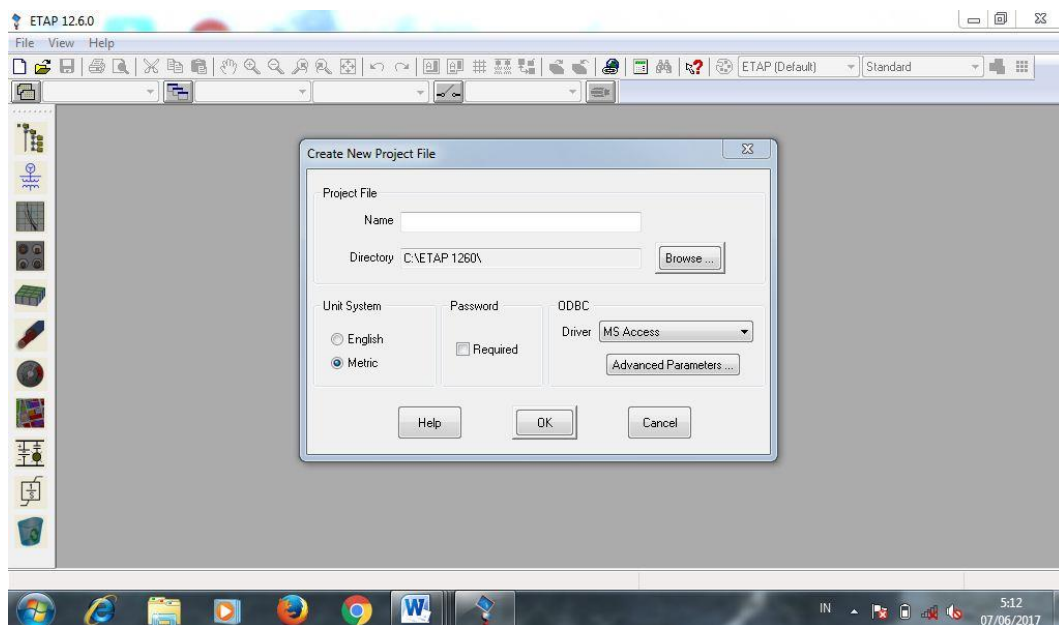
Pilih Program ETAP 12.6.0 yang terdapat pada tampilan *Desktop*

²⁵ <http://etappowerstation.wordpress.com/> Pukul 04.55 Wib, 12 Maret 2017



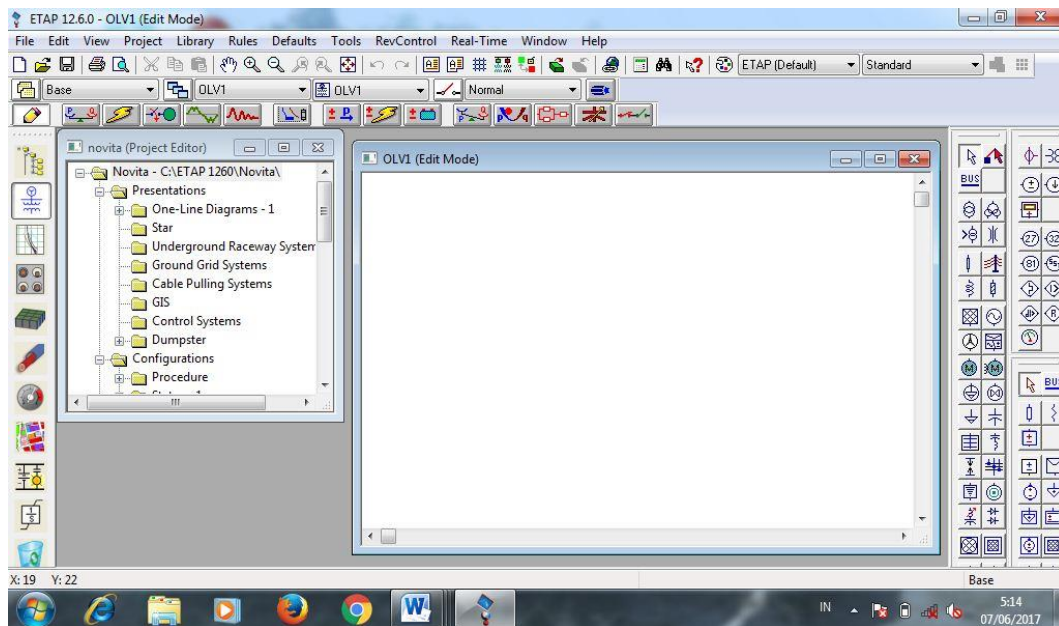
Gambar 2.10. Tampilan Awal Program ETAP 12.6

Kemudian Klik File > New Project, maka akan muncul :



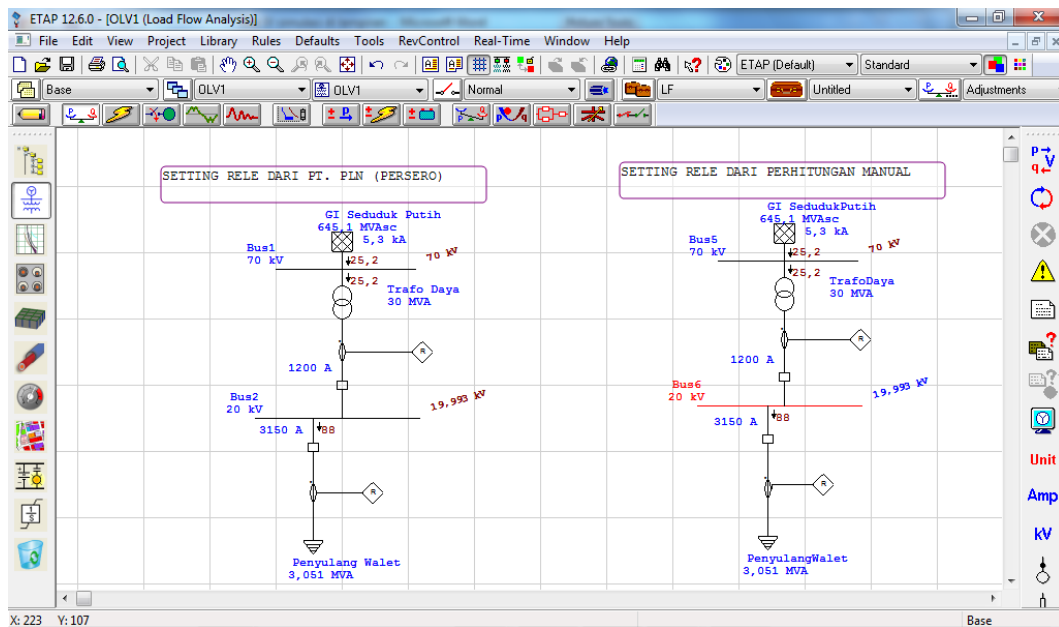
Gambar 2.11. Tampilan Perintah Untuk Memulai Program ETAP 12.6

Isi Nama project, lalu klik **OK**. maka selanjutnya akan tampil seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.12. Tampilan Menu Utama Program ETAP 12.6

Gambar dibawah ini merupakan *screen shoot* dari *Single Line Diagram*:

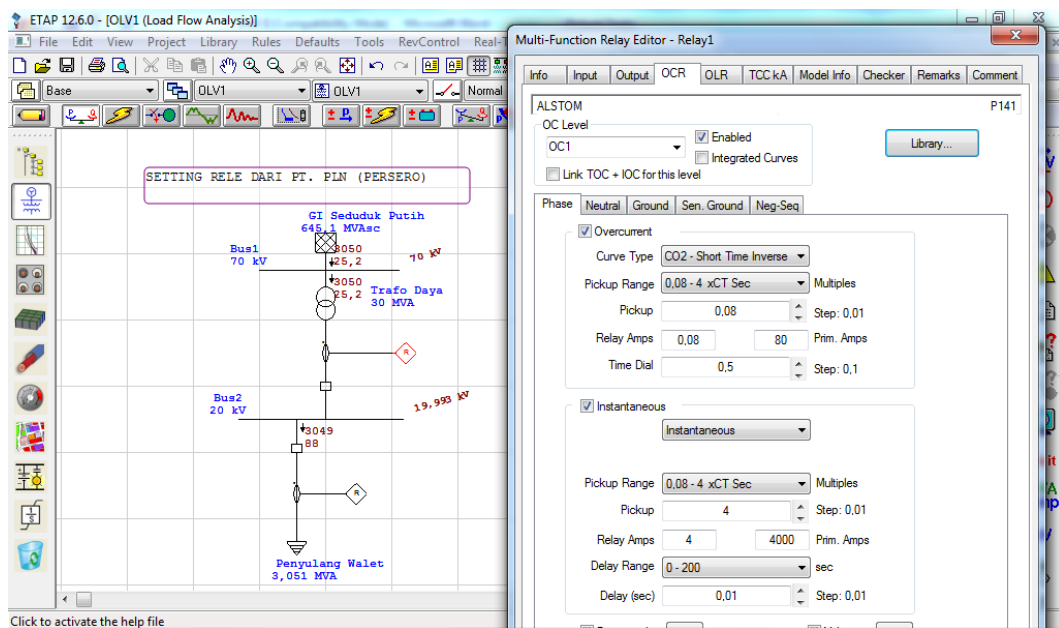


Gambar 2.13. Contoh Program ETAP 12.6 yang Telah Dirancang



2.16.2 Kesederhanaan Dalam Data Entry

ETAP melacak data yang rinci untuk masing-masing peralatan listrik. *Editor* data dapat mempercepat proses entri data dengan meminta data minimum untuk studi tertentu. Untuk mencapai ini, telah terstruktur *editor property* dengan cara yang paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisa atau disain.



Gambar 2.14. Menginput Data pada Program ETAP 12.6